

成年雄性林麝消化道寄生虫群落 对不同扰动策略的响应

付雅君^① 高云云^① 黎勇^② 蒋本模^③
王洪永^③ 胡德夫^① 李凯^① 张东^{①*}

① 北京林业大学生态与自然保护学院 北京 100083; ② 四川逢春制药有限公司 广元 618100;

③ 凤县逢春济民可信科技养殖有限公司 宝鸡 721700

摘要: 人工繁育是当前我国保护野生林麝 (*Moschus berezovskii*) 资源的主要手段之一,但在林麝种群复壮的过程中,消化道寄生虫病始终威胁着林麝的健康。为探究林麝消化道寄生虫群落对不同扰动策略的响应,本研究分别使用复合药阿苯达唑伊维菌素粉和单一成分药阿维菌素粉去除林麝体内线虫和绦虫,监测林麝其他寄生虫和群落动态变化。选取 60 只雄性林麝,随机分为 3 组,分别为阿苯达唑伊维菌素用药组 (20 只)、阿维菌素用药组 (20 只) 和未做任何处理的对照组 (20 只),并连续采集 8 周用药组和对照组林麝的新鲜粪便。基于改良的 Wisconsin 粪便虫卵漂浮计数法检测粪便中的虫卵和卵囊。对实验结果进行 Kruskal-Wallis 检验、Wilcoxon 秩检验、Mann Whitney 检验和双因素方差分析。研究结果显示,对照组和阿苯达唑伊维菌素用药组林麝的寄生虫感染均为混合感染,球虫为优势物种,其负载量显著高于线虫和绦虫 ($P < 0.05$),阿维菌素用药组林麝仅感染球虫。药物扰动后,两用药组林麝的球虫流行率、平均感染强度均高于对照组,但线虫流行率均低于对照组 (27.15%, 42.15%)。此外,用药后,阿苯达唑伊维菌素用药组林麝先于阿维菌素用药组再次感染线虫和绦虫。通过比较用药组和对照组林麝寄生虫的群落动态变化,表明林麝消化道寄生虫感染现象较为普遍,多重感染中球虫和蠕虫存在竞争关系,复合药物阿苯达唑伊维菌素粉对林麝寄生虫群落的扰动程度更大,林麝寄生虫群落恢复能力与扰动程度成正比。建议林麝人工繁育基地加强科学性和计划性驱虫,并持续性开展林麝寄生虫感染的监测工作。

关键词: 林麝; 消化道寄生虫; 扰动; 群落动态

中图分类号: S865.4+1 **文献标识码:** A **文章编号:** 0250-3263 (2021) 06-898-10

Responses of Parasitic Community to Different Disturbance Strategies in Digestive Tract of Adult Male Forest Musk Deer (*Moschus berezovskii*)

FU Ya-Jun^① GAO Yun-Yun^① LI Yong^② JIANG Ben-Mo^③
WANG Hong-Yong^③ HU De-Fu^① LI Kai^① ZHANG Dong^{①*}

基金项目 中央高校基本科研业务费专项资金 (No. 2019ZY46, 2019YC01), 2020 年野生动物疫病监测和预警系统维护 (No. 2020076013);

* 通讯作者, E-mail: ernest8445@163.com;

第一作者介绍 付雅君, 女, 硕士研究生; 研究方向: 野生动物疫源疾病防控; E-mail: 798715431@qq.com。

收稿日期: 2021-05-14, 修回日期: 2021-07-28 DOI: 10.13859/j.cjz.202106012

① School of Ecology and Nature Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083;

② Sichuan Fengchun Pharmaceutical Co., Ltd., Guangyuan 618100;

③ Fengxian Fengchun Jimin Credible Science and Technology Breeding Co., Ltd., Baoji 721000, China

Abstract: Captivity is one of the main methods to protect wild Forest Musk Deer (*Moschus berezovskii*) in China. However, parasitic disease is the main factor limiting the reproduction of captive individuals in the process of population rejuvenation. To investigate the response of parasite community in the digestive tract to different perturbations, we performed a perturbation experiment in captive Forest Musk Deer, by using compound drug albendazole ivermectin powder and single drug avermectin powder to suppress macroparasites, and monitored the consequences of dynamic changes in its community and other parasite species. We randomly selected 60 adult male Forest Musk Deers and divided them into different treatment groups: albendazole ivermectin group (20 ind), avermectin group (20 ind), and control group (20 ind), the control group without any treatment. We collected fresh fecal samples after anthelmintic disturbance for eight weeks for the experiment of egg floatation and count of eggs and oocysts based on Wisconsin's egg counting method. Then we did the Kruskal-Wallis test, Wilcoxon test, Mann Whitney test, and Two-way ANOVA test of the data. The results showed that the parasite infection of Forest Musk Deer was mixed in both control group and albendazole ivermectin group after anthelmintic treatment, with coccidia being the dominant parasite taxa. The number of coccidia was higher than that of nematode or cestode ($P < 0.05$) (Fig. 1). In the avermectin group, only coccidia was found (Fig. 1). The prevalence and average infection intensity of coccidia in treatment group were higher than those in the control group after interference, while treated Forest Musk Deers had a lower (27.15%) nematode infection rate compared with control individuals (42.15%) (Fig. 1, Fig. 2). The reinfection of nematode and cestode in albendazole ivermectin group was quicker than that in avermectin group after interference (Fig. 4, Fig. 5). Therefore, this study has proved that parasitic infection of digestive tract is common in Forest Musk Deer, and that competitive interactions between multiple parasite infections exist in the digestive tract. The analysis of community dynamics indicated that parasite communities in the digestive tract have diverse responses to different disturbance strategies, and that the compound medicine can cause greater perturbation to the coccidia and the recovery ability of parasite community is in proportion to perturbation degree. These results have provided a rare and clear experimental demonstration of interactions between helminths and co-infecting parasites in wild vertebrates. We suggested that the Forest Musk Deer breeding center should strengthen scientific and planned deworming, and continuously monitor parasite infection.

Key words: Forest Musk Deer; *Moschus berezovskii*; Digestive parasite; Disturbance; Community dynamic

寄生虫病是野生动物保护的主要威胁之一 (Johnson et al. 2015), 在宿主消化道的微生态环境里, 其常面临着多种大型寄生虫 (绦虫、线虫等) 和微小寄生虫 (球虫等) 的多重反复感染 (Rynkiewicz et al. 2019), 进而威胁宿主健康。识别和了解寄生虫间的相互作用机制是对寄生虫病进行生态防控的关键 (Pedersen et al.

2013, Hellard et al. 2015, Moss et al. 2020)。人工繁育是保护野生动物资源的重要手段, 但狭小的生活空间和特定的活动范围, 致使宿主寄生虫病原体感染更为频繁, 因此, 对人工繁育野生动物寄生虫病的管理、防控工作亟需从疾病生态学和群落生态学的角度进行思考和探索 (Johnson et al. 2015)。

林麝 (*Moschus berezovskii*) 是国家 I 级重点保护野生动物, 被世界自然保护联盟 (IUCN) 列为濒危物种 (EU) (吴家炎等 2006)。为保护野生麝类资源, 我国大力发展麝类人工繁育工作, 已初见成效, 但寄生虫病长期困扰着人工繁育林麝的健康, 严重制约了林麝的物种保护和种群复壮进程 (Hu et al. 2016, 胡晓龙等 2018)。目前林麝寄生虫病研究主要集中于病原体鉴定 (王洪永等 2011, 林海等 2017, Song et al. 2018)、感染情况普查 (王宇等 2015, 蔡永华等 2016, 陈冬等 2016, Hu et al. 2016) 等方面。定期药物驱虫是林麝寄生虫病的主要防治措施, 然而药物驱虫仅短期效果显著, 极易导致寄生虫病复发 (Njongmeta et al. 2004), 且长期使用驱虫药物易促使寄生虫产生抗药性, 增加林麝对寄生虫的易感性, 为今后的野化放归工作增加难度。

本研究选择陕西秦岭地区的大型林麝繁育基地对林麝消化道寄生虫进行群落扰动实验, 明确林麝消化道寄生虫类群间的相互作用及其对不同扰动策略的响应, 从群落生态学的角度优化林麝寄生虫病防控手段, 为林麝寄生虫病的管理提供更加科学的生态防控建议。

1 材料与方法

1.1 研究对象及样品采集

于陕西凤县逢春养殖基地 (海拔约 1 500 m), 选取 60 只青壮年 (2 ~ 8 岁) 雄性林麝, 随机分为用药组 (阿苯达唑伊维菌素组 20 只, 阿维菌素组 20 只) 和对照组 20 只, 明确不同扰动策略对林麝消化道寄生虫群落的影响。实验期间, 所有林麝均佩戴耳标, 被单独圈养, 各组林麝之间无接触, 圈舍取样前后打扫, 保证新鲜粪便的采集。

2019 年 4 月 23 日, 阿苯达唑伊维菌素用药组林麝一次性口服 5 mg 阿苯达唑伊维菌素粉 (1 mg/kg, 以伊维菌素计), 驱除宿主的外寄生虫及线虫、吸虫和绦虫等; 阿维菌素用药组林麝一次性口服 5 mg 阿维菌素粉 (1 mg/kg,

以阿维菌素计), 驱除宿主的线虫和外寄生虫; 对照组林麝不做任何驱虫处理。随后连续 8 周采集用药组和对照组林麝的新鲜粪便。将粪便样品密封, 4 °C 保存 (Ezenwa et al. 2015) 直至进行虫卵漂浮实验。

1.2 实验方法及数据分析

基于改良的 Wisconsin 粪便虫卵漂浮计数法开展实验 (Zajac et al. 2012), 取 1 g 粪便, 用饱和氯化钠溶液漂浮虫卵, 并在 100 倍和 400 倍显微镜 (OLYMPUS, CX22LED RFS1) 下观察并记录寄生虫虫卵 (eggs per gram, EPG) 及卵囊 (oocyst per gram, OPG) 数。由于当前林麝寄生虫研究无法对寄生虫全部物种进行准确鉴定, 研究中检出的林麝寄生虫物种跨越多个分类阶元, 本研究将寄生虫分类定位至纲级阶元进行数据统计分析。

计算实验期间三组林麝的寄生虫流行率、平均流行率、感染强度 (eggs/oocyst per gram, OPG/EPG)、平均感染强度 (average of eggs/oocyst per gram, AEPG/AOPG), 流行率 = (寄生虫感染宿主个体数/被检查宿主的总数) × 100%, 平均流行率 = (每周寄生虫感染宿主个体数/被检查宿主的总数) × 100%/8, 感染强度为每克粪便中的虫卵数和卵囊数, 平均感染强度 = 感染强度/被检查宿主的总数。将感染强度、平均感染强度转换为以 10 为底的对数形式, 使用 SPSS 24.0 和 Graphpad prism 8.4.3 对实验数据进行正态分布检验, 若符合正态分布, 则进行参数检验, 不符合则进行非参数检验。对用药组和对照组林麝寄生虫流行率和感染强度进行 Kruskal-Wallis 检验、Wilcoxon 秩检验、Mann Whitney 检验和双因素方差分析等, 比较林麝不同寄生虫类群之间的关系。

2 结果与分析

实验期间, 对照组中 1 只林麝个体因生病有服药情况, 故在分析过程中剔除此个体的所有数据。分析并比较 446 份 (阿苯达唑伊维菌素用药组 151 份、阿维菌素用药组 150 份、对

对照组 145 份) 粪便样品的实验结果。

2.1 不同扰动下寄生虫群落在成年雄性林麝种群内的结构变化

经监测, 60 只林麝粪便被检出的消化道寄生虫类群为球虫、线虫和绦虫。其中对照组林麝消化道寄生虫始终为混合感染, 球虫是优势物种, 其负载量显著高于线虫和绦虫; 阿维菌素用药组林麝扰动后监测期间仅感染球虫, 始终未出现线虫等大型寄生虫 (图 1); 阿苯达唑伊维菌素用药组林麝寄生虫扰动后前期仅感染球虫, 扰动后第 6 周开始出现线虫和绦虫, 且球虫始终是优势物种, 其负载量显著高于其他寄生虫。

2.2 林麝寄生虫感染强度及流行率的组间差异比较

对数转换后, 基于 Kruskal-Wallis 检验计算并比较三组林麝整体寄生虫和不同类群的寄生虫感染情况。对照组林麝球虫的平均感染强度为 0.180 ± 0.040 , 线虫的平均感染强度为 0.030 ± 0.010 , 该组球虫平均感染强度高于线虫 ($P < 0.05$); 阿维菌素用药组林麝球虫的平均感染强度为 0.240 ± 0.050 ; 阿苯达唑伊维菌素用药组林麝的球虫的平均感染强度为 0.330 ± 0.050 , 线虫平均感染强度为 0.008 ± 0.005 , 绦

虫平均感染强度为 0.005 ± 0.004 , 该组球虫平均感染强度显著高于线虫 ($P < 0.01$)。比较显示, 三组林麝整体寄生虫及绦虫的平均感染强度无显著差异; 对照组林麝球虫平均感染强度低于用药组 ($P < 0.05$), 线虫平均感染强度显著高于阿维菌素用药组 ($P < 0.01$), 但显著低于阿苯达唑伊维菌素用药组; 此外, 阿苯达唑伊维菌素用药组林麝球虫的平均感染强度高于阿维菌素用药组 ($P > 0.05$)。

各组寄生虫流行率分布见图 2。对照组林麝球虫流行率最高 (73.60%), 其次为线虫; 阿维菌素用药组林麝仅感染球虫 (75.00%); 阿苯达唑伊维菌素用药组林麝球虫流行率最高 (95.00%), 其次依次为线虫和绦虫 (图 2)。比较各组林麝间寄生虫流行率, 对照组林麝球虫流行率低于用药组, 且较阿维菌素用药组和阿苯达唑伊维菌素用药组球虫流行率分别低 1.40% 和 21.40%, 绦虫流行率低于阿苯达唑伊维菌素用药组 10.00%, 但其线虫流行率高于用药组, 较阿维菌素用药组和阿苯达唑伊维菌素用药组线虫流行率分别高 42.15% 和 27.15%; 此外, 阿苯达唑伊维菌素用药组林麝球虫的流行率比阿维菌素用药组高 20.00%, 且其线虫的流行率比阿维菌素用药组高 15.00%。

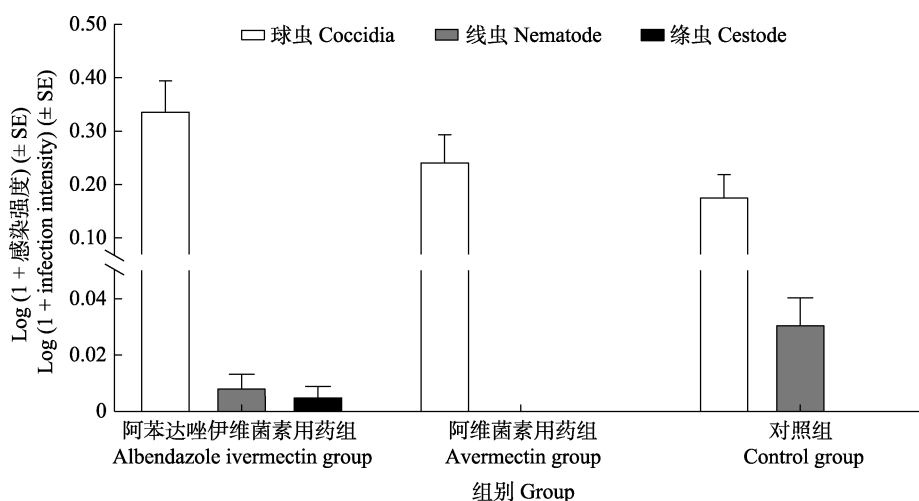


图 1 驱虫药物对林麝寄生虫的影响

Fig. 1 Effects of the anthelmintic drug on parasites in Forest Musk Deer

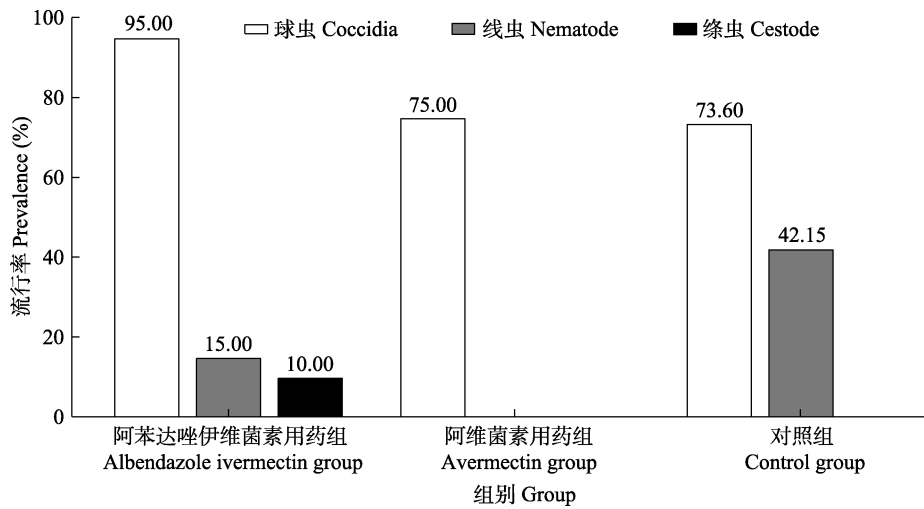


图2 实验阶段(8周)寄生虫流行率(%)

Fig. 2 Parasite prevalence (%) in 8-week experimental period

在实验期间(8周)各组寄生虫平均流行率, 独立样本 *t* 检验表明, 对照组林麝球虫和线虫的平均流行率差异不显著 ($P > 0.05$, $t = 2.082$, $df = 14$); Wilcoxon 秩检验和 Mann Whitney 检验结果均支持阿苯达唑伊维菌素用药组林麝球虫的平均流行率显著高于线虫 ($P < 0.01$), 且 Mann Whitney 检验表明, 该组球虫流行率显著高于绦虫 ($P < 0.01$)。比较各组间寄生虫平均

流行率, 发现用药组球虫平均流行率高于对照组(图3), 但配对样本 *t* 检验结果显示, 阿苯达唑伊维菌素用药组林麝球虫的平均流行率与对照组间差异不显著 ($P > 0.05$, $t = 1.035$, $df = 7$), 但 Kruskal-Wallis 检验结果显示三组林麝球虫平均流行率间无显著差异; 此外, Kruskal-Wallis 检验支持用药组的线虫平均流行率均显著高于对照组 ($P = 0.01$)。

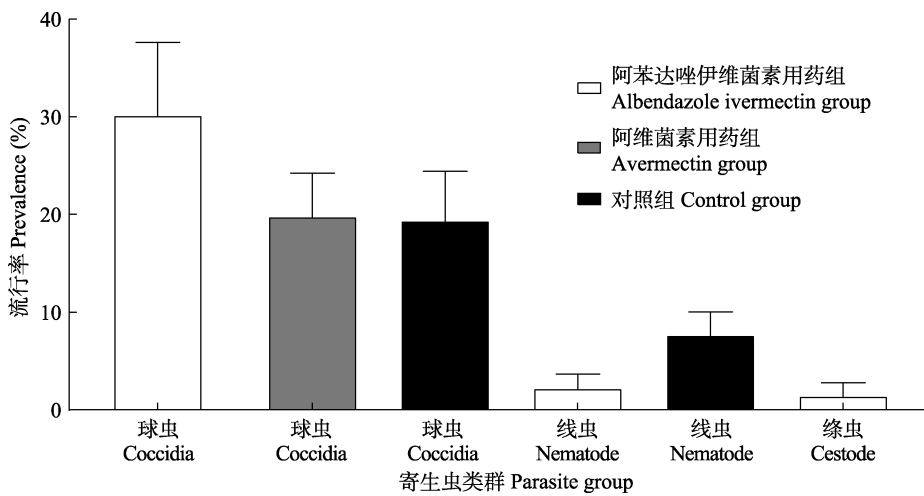


图3 不同处理方式对不同寄生虫类群流行率的影响

Fig. 3 Effects of different treatments on the prevalence of different parasite groups

2.3 时间尺度下林麝寄生虫感染强度及流行率的组间差异比较

时间和类群对林麝寄生虫群落动态变化有显著影响 (图 4, 图 5, 表 1)。对照组林麝球虫感染强度在扰动后第 2~5 周, 呈上升趋势,

其中第 2~3 周增速最快, 且第 5 周与第 1、2、6 周均有显著差异 (均 $P < 0.01$) (图 4b); 阿维菌素用药组林麝球虫的感染强度在扰动后第 2~3 周快速增加, 在时间尺度上无显著差异 (图 4d); 阿苯达唑伊维菌素用药组林麝球虫的

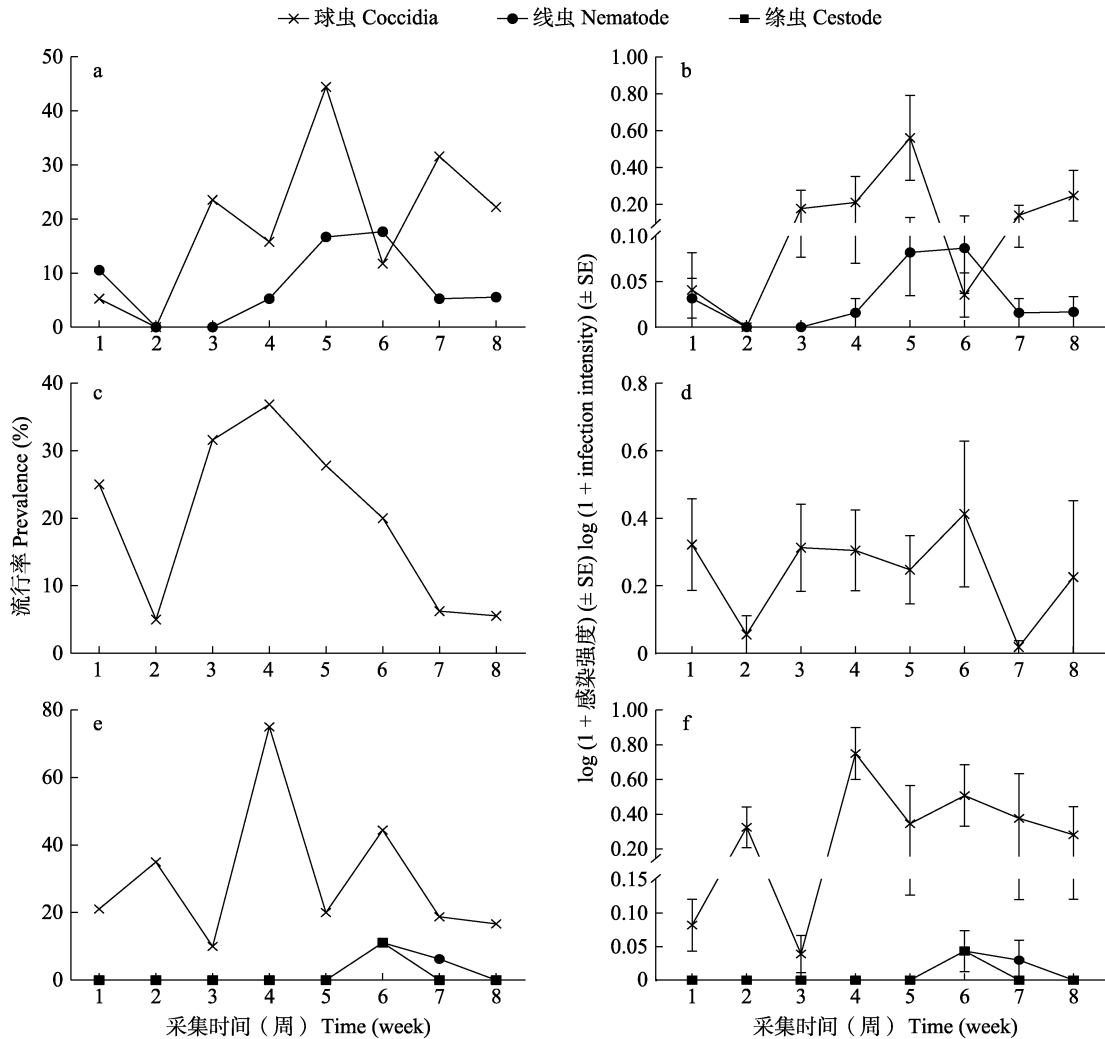


图 4 时间尺度下林麝消化道寄生虫群落感染强度及流行率变化

Fig. 4 The infection intensity and prevalence of digestive tract parasite communities in Forest Musk Deer under temporal scale

a 和 b 分别表示扰动后 8 周内对照组林麝球虫与线虫的流行率和感染强度, c 和 d 分别表示扰动后 8 周内阿维菌素组林麝球虫的流行率和感染强度, e 和 f 分别表示扰动后 8 周内阿苯达唑伊维菌素组林麝球虫、线虫和绦虫的流行率和感染强度。

Fig. 4a and Fig. 4b respectively represent the prevalence and infection intensity of coccidia and nematode in the control group of forest musk deer within 8 weeks of disturbance, Fig. 4c and Fig. 4d respectively represent the prevalence and infection intensity of coccidia in the avermectin group of forest musk deer within 8 weeks of disturbance, and Fig. 4e and Fig. 4f respectively represent the prevalence and infection intensity of nematodes and cestodes in the albendazole ivermectin group of forest musk deer within 8 weeks of disturbance.

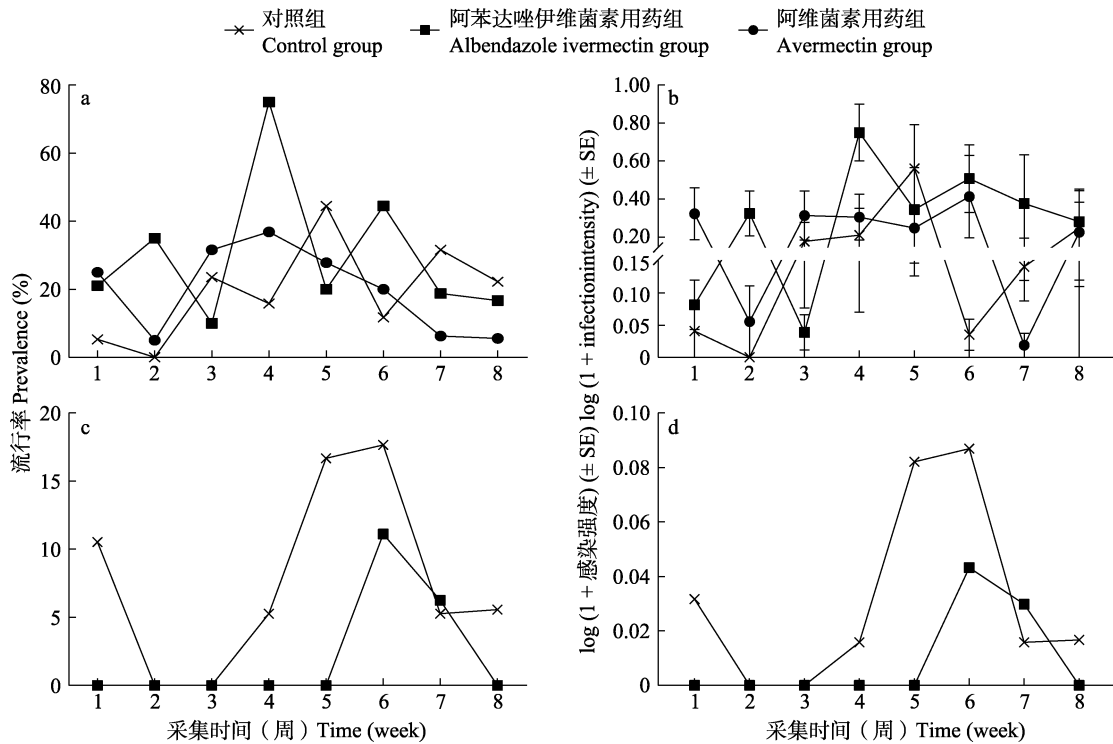


图 5 不同扰动策略下林麝消化道寄生虫流行率和感染强度的变化

Fig. 5 The prevalence and infection intensity of digestive tract parasites in Forest Musk Deer under different disturbance strategies

a, b 分别表示扰动后 8 周内各组林麝球虫的流行率和感染强度; c, d 分别表示扰动后 8 周内各组林麝线虫的流行率和感染强度。
 Fig. 5a and Fig. 5b represent the prevalence and infection intensity of coccidia in each group of forest musk deer within 8 weeks of disturbance, respectively; Fig. 5c and Fig. 5d represent the prevalence and infection intensity of nematode in each group of forest musk deer within 8 weeks of disturbance, respectively.

表 1 时间对林麝消化道寄生虫群落的影响

Table 1 Effect of time on digestive tract parasite community of Forest Musk Deer

	变量 Variable	离均差平方和 sum of squares of deviation from mean, SS	均方差 Mean squared error, MS	自由度 Degree of freedom, df	F 值 F-value	P 值 P-value
感染强度 Infection intensity	时间-类群 Time-Group	10.17	0.363	28	1.63	$P < 0.05$
	时间 Time	3.41	0.488	7	2.18	$P > 0.05$
	类群 Group	11.53	2.882	4	12.89	$P < 0.01$
流行率 Prevalence	时间 Time	1 489.00	212.800	7	1.38	$P > 0.05$
	类群 Group	3 883.00	970.600	4	7.50	$P < 0.01$

感染强度在扰动后第 4 周升至最高, 与第 1、2、3、8 周均有显著差异 ($P < 0.01$, $P < 0.05$, $P < 0.01$, $P < 0.05$), 第 3 周与第 6 周有显著差异 ($P < 0.05$), 此外, 该组林麝线虫和绦虫的感

染强度在时间尺度上均无显著差异 (图 4f)。比较三组寄生虫感染强度群落变化, 发现在第 4 周, 阿苯达唑伊维菌素用药组林麝球虫的感染强度与阿维菌素用药组、对照组均有差异 ($P <$

0.05, $P < 0.01$) (图 5b), 且第 6 周, 阿苯达唑伊维菌素用药组林麝球虫的感染强度与对照组有显著差异 ($P < 0.05$) (图 5b)。

林麝寄生虫流行率在时间尺度下无显著性差异, 但在寄生虫类群方面有显著性差异 (图 4, 图 5, 表 1)。对照组林麝球虫流行率在实验期间第 2~5 周快速增加, 第 5~8 周逐渐降低, 其线虫的流行率在第 3~6 周增加, 第 6 周后开始下降 (图 4a); 阿维菌素用药组林麝球虫流行率在扰动后第 2~4 周快速增加, 第 4 周后快速降低 (图 4c); 阿苯达唑伊维菌素用药组林麝球虫与线虫的流行率在扰动后的 8 周内均有显著性差异 ($P < 0.01$), 其中球虫的流行率在扰动后第 3~4 周快速增加, 第 4 周后逐渐下降 (图 4e)。比较实验期间三组寄生虫流行率, 发现阿苯达唑伊维菌素用药组、阿维菌素用药组与对照组林麝的寄生虫流行率均无显著差异 (图 5)。

3 讨论

环境压力和激素影响宿主体内寄生虫的感染强度和流行率, 可导致宿主产生免疫抑制, 增加宿主对寄生虫的易感性 (Oppliger et al. 1998)。性别相关的激素可影响宿主对原生动物寄生虫的免疫, Roberts 等 (2001) 通过分析弓形虫 (*Toxoplasma gondii*)、疟原虫 (*Plasmodium*)、利什曼原虫 (*Leishmania*) 对人和小鼠 (*Mus musculus*) 的感染, 总结了性别、妊娠相关激素的分泌对宿主免疫系统的影响, 以及雌性哺乳动物孕期及哺乳期免疫系统及激素分泌等生理状态会影响宿主对寄生虫的易感性。本研究选择成年雄性林麝作为实验对象有两个原因, 一是林麝是一种高应激性的独居小型林栖动物, 实验期间雌性林麝正处于孕期或哺乳期, 用药后期的多次采集工作会对它们造成严重的人为刺激, 而且阿苯达唑具有一定的胎毒性和致畸作用, 为了雌性林麝及其胎儿的健康与安全, 此阶段的雌性林麝不宜进行驱虫; 二是随着感染时间的增长, 寄生虫会对宿主的繁殖及

生存造成不利影响 (Agnew et al. 2000)。林麝人工繁育种群采取一雄多雌的交配模式, 长期寄生虫感染可能会降低雄性林麝的繁殖和生存能力, 影响种群复壮。因此, 本研究以吴家炎等 (2006) 对林麝生长阶段的划分为依据, 选择 2~8 岁处于青壮年的健康雄性林麝进行研究, 同时避免了林麝性别和年龄对寄生虫易感性的影响。

在林麝人工繁育种群中, 为了抑制肠道寄生虫对林麝健康的危害, 繁育基地在每年春、秋季定期对成年林麝及断奶幼麝进行药物驱虫, 其中春季仅对雄麝及未参与配种的雌麝驱虫, 林麝寄生虫群落多次受到药物干扰。由于频繁进行药物干扰, 人工繁育林麝的寄生虫群落正常演替被扰乱, 因此, 本研究选择春季, 未进行任何处理的对照组林麝的寄生虫群落可以代表当下基地内林麝消化道寄生虫的顶级群落。

3.1 林麝消化道寄生虫类群间相互作用

林麝体内球虫与蠕虫之间存在竞争相互作用。多项研究表明, 利用驱虫药去除动物体内的寄生线虫后, 动物体内细菌、病毒、球虫等微小生物病原体流行率和繁殖率增加 (Ezenwa et al. 2015, Ezenwa 2016, Rynkiewicz et al. 2019)。本研究药物干扰后 4 周内, 阿苯达唑伊维菌素用药组和阿维菌素用药组林麝体内球虫的流行率和感染强度迅速增加, 均高于对照组, 表明去除林麝体内的大型寄生蠕虫后, 球虫在林麝体内更加活跃。球虫与蠕虫间潜在竞争的现象可能有两个解释, 一是球虫与蠕虫均主要寄生于林麝肠道内 (沙国润等 1994, 吴家炎等 2006, 林海等 2017), 在寄生过程中, 处在同一生态位的球虫和蠕虫共同竞争林麝肠道的生存空间和营养; 二是共感染的球虫与线虫之间存在免疫介导的消极相互作用 (Clerc et al. 2018)。

3.2 林麝消化道寄生虫群落对药物扰动的响应

林麝消化道寄生虫群落对药物干扰具有自我调节能力。时间尺度下的林麝寄生虫群落动

态分析显示,驱虫扰动后4周内,球虫的流行率和平均感染强度迅速增加,4周后再下降至对照组寄生虫群落水平。此外,药物扰动后,用药组林麝肠道寄生虫群落随时间进行次生演替,尽管使用复合药物阿苯达唑伊维菌素对林麝寄生虫群落的扰动程度更大,但在扰动后4周内,阿苯达唑伊维菌素用药组林麝球虫的流行率及感染强度均高于阿维菌素用药组,且在干扰后第6周出现线虫和绦虫,其寄生虫群落结构逐渐趋近于对照组,而阿维菌素用药组林麝始终未发现线虫等大型寄生虫,这表明阿苯达唑伊维菌素用药组更易达到林麝人工繁育种群消化道寄生虫的顶级群落,而使用单一药物的阿维菌素组的林麝寄生虫群落受到扰动后,其恢复能力低于阿苯达唑伊维菌素用药组。

Knowles 等(2013)研究证明,野生木鼠(*Apodemus sylvaticus*)体内寄生虫群落在药物干扰下具有抗药性和可复原性。本研究显示林麝消化道寄生虫群落存在同样的调节作用,且不同的干扰策略会导致不同的调节速率,但这种调节作用的机制目前尚不明确,需在宿主-寄生虫系统内对其进行深入研究。

综上,本研究基于:1)药物扰动后用药组和对照组林麝消化道寄生虫感染差异,显示林麝体内球虫和蠕虫间存在潜在相互作用;2)扰动后的林麝消化道寄生虫在时间尺度上的群落动态变化,表明林麝寄生虫群落的复原能力与干扰程度成正比;3)不同用药组的林麝消化道寄生虫的群落动态比较,发现阿维菌素对林麝寄生虫群落的扰动程度小于阿苯达唑伊维菌素,药效强于阿苯达唑伊维菌素。

4 林麝人工繁育种群寄生虫病防控建议

人工繁育野生动物寄生虫病的常见防控方案为药物治疗,尽管持续用药效果显著,但药物治疗无法使动物产生保护性免疫(Tchakoute et al. 2006)。Njongmeta 等(2004)发现,使用伊维菌素进行阶段性驱虫,停药后宿主对寄生虫的易感性增加。本研究显示,药物干扰后的

1~4周内,林麝寄生虫流行率和感染强度增加,因此繁育基地应根据林麝寄生虫感染情况优化防控措施,如对基地林麝进行长期或阶段性的寄生虫监测,根据监测结果、寄生虫群落受到扰动后的复原能力以及寄生虫间相互作用选择性去除一类危害性较大的寄生虫,采取针对性防控策略、减少用药次数和药量,并在驱虫后加强对林麝的巡视工作,监测其寄生虫感染情况。

参 考 文 献

- Agnew P, Koella J C, Michalakis Y. 2000. Host life history responses to parasitism. *Microbes and Infection*, 2(8): 891–896.
- Clerc M, Devevey G, Fenton A, et al. 2018. Antibodies and coinfection drive variation in nematode burdens in wild mice. *International Journal for Parasitology*, 48(9/10): 785–792.
- Ezenwa V O. 2016. Helminth-microparasite co-infection in wildlife: lessons from ruminants, rodents and rabbits. *Parasite Immunology*, 38(9): 527–534.
- Ezenwa V O, Jolles A E. 2015. Opposite effects of anthelmintic treatment on microbial infection at individual versus population scales. *Science*, 347(6218): 175–177.
- Hellard, E, Fouchet D, Vavre F, et al. 2015. Parasite-parasite interactions in the wild: how to detect them? *Trends in Parasitology*, 31(12): 640–652.
- Hu X L, Liu G, Wang W X, et al. 2016. Methods of preservation and flotation for the detection of nematode eggs and coccidian oocysts in faeces of the forest musk deer. *Journal of Helminthology*, 90(6): 680–684.
- Johnson P T J, de Roode J C, Fenton A. 2015. Why infectious disease research needs community ecology. *Science*, 349(6252): 1259504.
- Knowles S C L, Fenton A, Petchey O L, et al. 2013. Stability of within-host-parasite communities in a wild mammal system. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 280(1762): 20130598.
- Moss W E, Mcdevitt-Galles T, Calhoun D M, et al. 2020. Tracking the assembly of nested parasite communities: Using β -diversity to understand variation in parasite richness and composition over time and scale. *Journal of Animal Ecology*, 89: 1532–1542.

- Njongmeta L M, Nfon C K, Gilbert J, et al. 2004. Cattle protected from onchocerciasis by ivermectin are highly susceptible to infection after drug withdrawal. *International Journal for Parasitology*, 34(9): 1069–1074.
- Oppliger A, Clobert J, Lecomte J, et al. 1998. Environmental stress increases the prevalence and intensity of blood parasite infection in the common lizard *Lacerta vivipara*. *Ecology Letters*, 1(2): 129–138.
- Pedersen A B, Antonovics J. 2013. Anthelmintic treatment alters the parasite community in a wild mouse host. *Biology Letters*, 9(4): 20130205.
- Roberts C W, Walker W, Alexander J. 2001. Sex-associated hormones and immunity to protozoan parasites. *Clinical Microbiology Reviews*, 14(3): 476–488.
- Rynkiewicz E C, Melanie C, Babayan S A, et al. 2019. Variation in local and systemic pro-inflammatory immune markers of wild wood mice after anthelmintic treatment. *Integrative and Comparative Biology*, 59(5): 1190–1202.
- Song Y, Li W, Liu H F, et al. 2018. First report of *Giardia duodenalis* and *Enterocytozoon bieneusi* in forest musk deer (*Moschus berezovskii*) in China. *Parasites & Vectors*, 11(1): 1–6.
- Tchakoute V T, Graham S P, Jensen S A, et al. 2006. In a bovine model of onchocerciasis, protective immunity exists naturally, is absent in drug-cured hosts, and is induced by vaccination. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 103(15): 5971–5976.
- Zajac A M, Conboy G A. 2012. *Veterinary Clinical Parasitology*. America: John Wiley and Sons Ltd. 11–12.
- 蔡永华, 林海, 程建国, 等. 2016. 中国圈养麝内寄生虫感染情况调查. *四川动物*, 35(1): 74–77.
- 陈冬, 程建国, 蔡永华, 等. 2016. 圈养林麝仔麝肠道寄生虫感染的监测. *经济动物学报*, 20(4): 197–199.
- 胡晓龙, 魏雨婷, 杨双, 等. 2018. 麝科动物寄生虫的研究进展. *中国预防兽医学报*, 40(2): 170–172.
- 林海, 程建国, 蔡永华, 等. 2017. 林麝捻转血矛线虫的分子鉴定. *中国预防兽医学报*, 39(7): 597–599.
- 沙国润, 张化贤, 蔡永华, 等. 1994. 家养林麝寄生艾美虫二新种(真球虫目: 艾美科). *四川动物*, 13(1): 1–4.
- 王宇, 程建国, 付文龙, 等. 2015. 四川省某养麝场林麝内寄生虫感染情况调查. *中国预防兽医学报*, 37(5): 379–382.
- 王洪永, 蔡永华, 程建国, 等. 2011. 林麝肝片形吸虫病的诊治. *中国兽医杂志*, 47(2): 96–96.
- 吴家炎, 王伟. 2006. 中国麝类. 北京: 中国林业出版社, 299–301.